

РОЗРАХУНОК ТА АНАЛІЗ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ТИПУ МИЛЬТИРОТОР

*Деружко Б. М.; Правда В. І., к. т. н., проф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна*

Для невеликих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) (до 5 кг) здійснення безпосереднього керування та отримання телеметричних даних доцільно забезпечувати одним каналом зв'язку, це в свою чергу ефективно з точки зору використання радіочастотного спектру. В БПЛА даного типу використовуються безколекторні трьохфазні двигуни, з драйверами, при роботі яких відбувається випромінювання, яке має характер білого шуму, що створює завади для роботи каналу зв'язку.

Найбільш поширений протокол за допомогою якого відбувається обмін даними між ЛА (літальним апаратом) і наземною станцією керування є MAVLink, існує багато моделей модемів, що підтримують цей протокол, в різних цінових категоріях і в залежності від характеристик. Для побудови бюджетного апарату з максимальними значеннями дальності та заданими параметрами якості зв'язку застосуємо модем-трансівер 3DR Radio на базі радіо модуля HM-TRP з радіо-мікроконтролером SiLabs Si1000.

Основною перевагою даного мікроконтролера є те, що він в собі має апаратні засоби для передачі та прийому радіосигналів і обробки цифрової інформації, це дозволяє підвищити надійність, зменшити габарити та вагу, що відіграє важливу роль при роботі ЛА. Вбудований інтерфейс розробника дозволяє не використовуючи ресурси мікроконтролера проводити налагодження по встановленій програмі з можливістю перевіряти модифікацію пам'яті і регістрів, запускати і зупиняти команди. Всі аналогові і цифрові блоки повністю працездатні при налагодженні.

Характеристики каналу, що розробляється:

- тип модуляції: частотна маніпуляція (FSK),
- діапазон частот: 895–935 МГц,
- максимальна потужність: 100 мВт,
- мінімальна чутливість: -121 дБм,
- максимальна швидкість передачі даних: 250 кБіт/с.

Оцінимо дальність зв'язку:

Вирахуємо необхідне співвідношення с/ш для роботи модему з заданою якістю зв'язку:

$$SNR_{\text{ш1}} = \frac{E}{N_0} \times \frac{R}{B},$$

де $R = 40$ кБіт/с — швидкість передачі даних,
 $B = 40$ кГц — ширина смуги пропускання каналу,
 $p_e = 10^{-2}$ — задана імовірність помилки.

$$q_{\text{опт}}^2 = \frac{E}{N_0} = 2 \ln \frac{1}{2p_e} = 8,9 \text{ дБ.}$$
$$SNR_{\text{ш1}} = 8,9 \text{ дБ.}$$

Загальний шум, створений силовою частиною ЛА та шум при роботі приймача:

$$SNR = SNR_{\text{ш1}} + SNR_{\text{ш2}} = 8,9 \text{ дБ} + 20 \text{ дБ} = 28,9 \text{ дБ},$$

де $SNR_{\text{ш2}}$ — шум при роботі ЛА.

Використаємо для розрахунку бюджету каналу зв'язку значення, які взяті з реальної моделі при заданих параметрах якості зв'язку:

- вихідна потужність передавача: 20 дБм,
- втрати в фідері: -1,5 дБ,
- підсилення антени НСК: 5 дБі,
- підсилення бортової антени: 2 дБі,
- втрати в фідері на борту: -1,5 дБ,
- чутливість приймача: -108 дБм,
- бюджет каналу зв'язку: 132 дБ.

Потужність сигналу на вході приймача повинна бути не нижче рівня потужності шуму, тому з цих міркувань значення втрат у вільному просторі буде становити різницю значення отриманого з бюджету каналу зв'язку та значення співвідношення с/ш на вході приймача:

$$K = 132 \text{ дБ} - 28,9 \text{ дБ} = 103,1 \text{ дБ},$$

де K — втрати у вільному просторі.

Отримане значення дає нам поняття про дальність зв'язку:

$$D = \frac{c \cdot \sqrt{10^{\frac{K}{10}}}}{4\pi f},$$
$$F = 915 \text{ МГц},$$
$$D = 3730 \text{ м.}$$

Даний мікропроцесор дозволяє використовувати дві рознесені антени, що дає вигоду в ефективності каналу зв'язку, передача відбувається на ту антенну, де рівень сигналу більший.

Проведемо розрахунок енергетичного вигаду при рознесеному прийманні:

$$0.$$

Співвідношення с/ш при прийомі на одну антену з заданою ймовірністю помилки:

$$n = 1, \overrightarrow{p_{e1}} = \frac{1}{2 + q^2}, \overrightarrow{q_1^2} = \frac{1}{P_{e1}} - 2 = 10^2 - 2 = 19,9 \text{ дБ.}$$

Співвідношення с/ш при прийомі на дві антени з заданою ймовірністю

ПОМИЛКИ:

$$n = 2, \overrightarrow{p_{e2}} = \frac{2!}{2 \left(1 + \frac{\overrightarrow{q^2}}{2} \right)} = \frac{1}{2 + 3 \left(\frac{\overrightarrow{q^2}}{2} \right) + \left(\frac{\overrightarrow{q^2}}{2} \right)^2} = 10^{-2},$$
$$3 \left(\frac{\overrightarrow{q^2}}{2} \right) + \left(\frac{\overrightarrow{q^2}}{2} \right)^2 - 98 = 0,$$
$$\overrightarrow{q_2^2} = 12,58 = 11 \text{ дБ}.$$

Енергетичний виграш при рознесеному прийманні:

$$K_v = \overrightarrow{q_1^2} - \overrightarrow{q_2^2} = 19,9 \text{ дБ} - 11 \text{ дБ} = 8,9 \text{ дБ}.$$

Отримане значення виграшу перерахуємо для системи, щоб отримати нове значення дальності зв'язку:

$$K_2 = K + K_v = 103,1 \text{ дБ} + 8,9 \text{ дБ} = 112 \text{ дБ}, D_2 = 10392 \text{ м}.$$

Розрахунки і характеристики приведені вище показують, що застосування дешевих пристроїв і способів реалізації прийому дозволяють вирішувати складні задачі з заданими вимогами.

Перелік посилань

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. / Б. Скляр. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — 1104 с.
2. Si1000/1/2/3/4/5/ Silicon Labs [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Si1000.pdf>. — Назва з екрану.
3. Сідоров Г. І. Основи теорії передавання інформації в прикладах і задачах: Навч. посіб. — Харків: ТОВ «Компанія СМІТ». — 2006. — 136 с.

Анотація

На прикладі реальної моделі виконано розрахунок дальності каналу зв'язку і управління літальним апаратом, показана можливість застосування дешевих пристроїв для вирішення складних технічних задач, запропоновано протокол обміну даними, вибрано радіомодуль.

Ключові слова: канал зв'язку, керування.

Аннотация

На примере реальной модели выполнен расчет дальности канала связи и управления летательным аппаратом, показана возможность применения дешевых устройств для решения сложных технических задач, предложено протокол обмена данными, выбрано радиомодуль.

Ключевые слова: канал связи, управления.

Abstract

For example a real model calculated range of communication and control of the aircraft, the possibility of the use of the cheap devices to solve complex technical problems, suggested communication protocol and radio.

Keywords: communications channel, control.